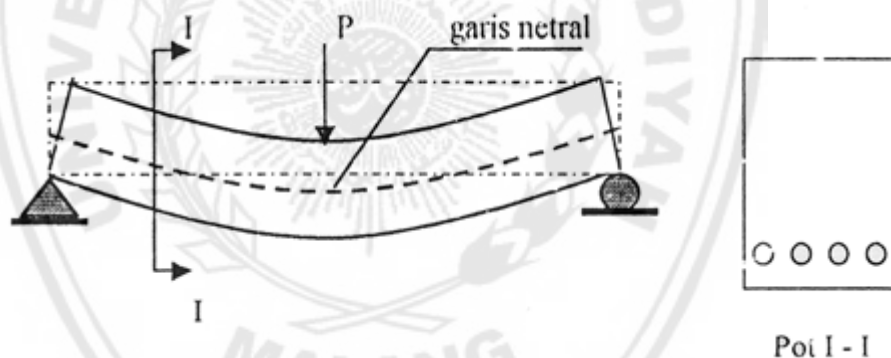


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Umum

Menurut Rusdianto dan Septiropa (2005), Beton bertulang adalah salah satu konstruksi yang paling umum dari beberapa jenis bahan dalam konstruksi di samping beberapa baja dan bahan kayu alami. Beton bertulang adalah kombinasi dari dua yang berbeda bahan, yaitu tulangan baja dan beton. Beton adalah jenis material/material yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi dan kekuatan tarik rendah. Material baja memiliki nilai kekuatan tarik lebih tinggi sehingga baja yang sering digunakan dibeton bisa memberikan kekuatan tarik dari beton yang dibutuhkan dalam konstruksi beton bertulang. Sebagai ilustrasi fungsi beton dan tulangan baja yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 adalah blok sederhana pada dua tumpuan.



**Gambar 2.1** Balok Menerus

#### 2.2. Beban Struktur

Beberapa jenis beban yang sering dijumpai yaitu beban mati(DL), beban hidup(LL), beban angin(W) dan beban gempa(E).

##### 2.2.1. Beban Mati

Beban mati dari suatu bangunan merupakan berat sendiri struktur akibat adanya gravitasi bumi. Beban ini hanya bekerja vertical ke bawah secara terus menerus pada struktur. Perhitungan beban mati suatu struktur didasarkan dari berat satuan material dan berdasarkan volume elemen tersebut. Benda yang menempel pada elemen struktur tersebut juga sebagai

beban mati, seperti pipa air, pipa listrik, saluran pendingin dan pemanas ruangan, plafond dan sebagainya.

Sebelum melakukan perenanaan struktur, beban mati dihitung terlebih dahulu dengan menaksir berat elemen struktur dan dimensi struktur. Setelah itu melakukan perhitungan pembebanan sesuai dengan berat elemen dan volume elemen tersebut.

### **2.2.2. Beban Hidup**

Beban hidup ialah beban yang bekerja akibat suatu gedung yang dihuni atau digunakan, dan di dalamnya termasuk beban-beban yang menumpu pada lantai yang asalnya dari perabotan yang dapat berubah tempat untuk sewaktu-waktu. Contoh dari beban hidup adalah manusia, mebel, peralatan yang dapat dipindahkan, kendaraan dan sebagainya.

Beberapa beban hidup dapat membebani secara permanen sedang lainnya hanya bekerja sekejap. Karena berat dan kepadatan beban hidup tidak bias diketahui secara pasti, maka besar yang sesungguhnya dari beban ini sulit untuk ditentukan. Oleh karena itu untuk mendapatkan keamanan gedung yang memadai, beban hidup yang digunakan sebagai beban kerja dalam perencanaan ditetapkan oleh peraturan bangunan dari badan pemerintah

### **2.2.3. Beban Angin**

Beban angin ialah beban yang pada umumnya bekerja pada suatu struktur yang diakibatkan dari tekanan udara. Beban angin berpengaruh terhadap lokasi dan tinggi dari suatu bangunan. Nilai tekanan angin harus diambil yang terkecil sebesar 25 kg/m<sup>2</sup>, kecuali gedung yang sebagai berikut:

1. Tekanan angin ditepi laut radius 5 km dari permukaan pantai harus diambil tidak kurang dari 40 kg/m<sup>2</sup>
2. Untuk gedung yang di daerah lain yang memiliki kemungkinan tekanan anginnya lebih dari 40 kg/m<sup>2</sup>, harus diambil dengan  $p = V^2 / 16$  kg/m<sup>2</sup>, dengan V yaitu kecepatan angin dalam m/s

3. Untuk bangunan cerobong, tekanan angin dalam  $\text{kg/m}^2$  harus ditentukan dengan rumus  $(42,5 + 0,6h)$ , dengan nilai  $h$  adalah ketinggian dari bangunan seluruhnya dalam satuan meter.

Nilai-nilai dari tekanan udara/angin dapat diperoleh dari perhitungan diatas dan dikalikan dengan koefesien-koefesien angin untuk mendapatkan nilai-nilai resulten yang berpengaruh pada bidang tersebut.

#### 2.2.4. Beban Gempa

Gempa bumi adalah beban yang disebabkan oleh gempa bumi. Gempa bumi merupakan fenomena alam yang tidak dapat diprediksi dan tidak dapat digunakan dan terlepas dari besarnya, juga akan menyebabkan banyak kerusakan dan kerusakan baik kekayaan maupun jiwa yang dialami di wilayah tersebut. Lokasi Indonesia sendiri yang merupakan pertemuan antara tiga lempeng-lempeng Indo-Australia, lempeng Pasifik dan lempeng Eurasia, yang menyebabkan rintangan di seluruh Indonesia memiliki gempa tektonik yang tinggi. Karena itu, Indonesia tampaknya berada dalam lingkaran api yang membakar.

#### 2.2.5. Beban Terfaktor

Menurut peraturan pada SNI 1727-2013 tentang Beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain, digunakan kombinasi dasar pembebanan metode desain kekuatan sebagai berikut :

$$1. \quad 1.4D, \quad (2.1)$$

$$2. \quad 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ atau } R), \quad (2.2)$$

$$3. \quad 1.2D \pm 1.6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0.5W), \quad (2.3)$$

$$4. \quad 1.2D \pm 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ atau } R), \quad (2.4)$$

$$5. \quad 1.2D \pm 1.0E + L, \quad (2.5)$$

$$6. \quad 0.9D \pm 1.0W, \quad (2.6)$$

$$7. \quad 0.9D \pm 1.0E. \quad (2.7)$$

Terkecuali: Untuk factor beban  $L$  pada kombi 3,4, dan 5 boleh diambil sama dengan 0,5 terkecuali ruangan gerasi, rungan pertemuan, dan

ruangan - ruangan yang punya nilai beban hidupnya memiliki lebih besar daripada  $500 \text{ kg/m}^2$ .

Bila beban air  $F$  yang bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus dipertimbangkan dengan nilai factor beban yang sama dengan factor beban untuk beban mati  $D$  pada kombinasi 1 hingga 5 dan 7.

Bila beban tanah  $H$  bekerja pada struktur, maka nilainya harus diperhitungkan sebagai berikut:

1. Bila ada beban  $H$  yang memperkuat pengaruh variabel beban utama, maka dihitung pengaruh  $H$  dengan factor beban 1,6.
2. Bila ada beban  $H$  memberikan perlawanan terhadap pengaruh variabel beban utama, maka akan dihitung pengaruh  $H$  dengan faktor beban = 0,9 (jika bebannya bersifat permanen) atau dengan faktor beban = 0 (untuk kondisi lainnya)

Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan seismic harus ditinjau, namun kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan.

**Tabel 2.1** Faktor reduksi kekuatan

No	Gaya	$\phi$
1	Lentur tanpa beban aksial	0,90
2	Geser dan torsi	0,75
3	Beban aksial dan beban aksial dengan lentur	0,65
4	Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur	0,90
5	Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur (spiral)	0,70
6	Tumpuan pada beton	0,65

Sumber: SNI 2847-2013

## 2.3. Elemen Struktur

### 2.3.1. Pelat

Pelat adalah struktur yang terbuat dari campuran beton yang menggunakan tulangan yang tipis dengan bidang aksial horisontal, dan

mengakibatkan beban-beban yang bekerja pada pelat bersilangan terhadap bidang struktur. Tebal dari pelat kemungkinan kecil bila dibandingkan dengan panjang/lebarnya. Plat beton ini sangat kaku dan arahnya yang horizontal, sehingga pada bangunan gedung bertingkat, pelat ini berfungsi sebagai elemen pengaku / diafragma yang berguna untuk mendukung peran balok pada portal bangunan.

Struktur pelat biasa saja dimodelkan oleh elemen solid 3D, tetapi elemen solid membutuhkan banyak elemen solid untuk menghitung tegangan normal dan tegangan geser dalam arah tebal dimana hal ini diabaikan untuk pelat tipis. Selain itu elemen 3D yang tipis mengundang masalah yang menimbulkan “ill condition” karena koefisien kekakuan sehubungan dengan regangan arah tebal yaitu  $E_z$  adalah sangat besar dibandingkan koefisien regangan kekakuan yang lain. Geometri tepi suatu pelat dapat dibatasi oleh garis lurus atau garis lengkung. Ditinjau dari segi statistika, kondisi tepi bebas, jepit elastis, tumpuan sederhana, tumpuan elastis atau dalam beberapa hal dapat berupa tumpuan titik terpusat. Beban statis atau dinamis yang dipikul oleh plat umumnya tegak lurus pada permukaan pelat sehingga peralihan yang terjadi pada pelat merupakan akibat dari gaya lentur pelat (antara lain transisi vertical, lendutan dan rotasi pelat  $\beta_x, \beta_y$ ).

#### **2.3.1.1 Pelat Satu Arah**

Pelat satu arah adalah pelat sederhana yang dapat dianalisa dengan teori mekanika teknik yang didasarkan pada teori elastis linier. Pelat satu arah dapat bersifat statis tertentu atau statis tak tentu. (Yunan R., Zamzami S., 2005) Konstruksi pelat one way. Pelat yang menggunakan besi tulangan pokok yang melajur satu arah ini banyak sekali dijumpai pada bangunan yang lebih mendominasi menahan beban yang merupakan lentur pada bentang yang arahnya satu saja. Contohnya pelat oneway adalah pelat kantilever (luifel) dan pelat yang ditumpu oleh 2 tumpuan.

Karena momen lentur yang bekerja pada bidang adalah satu arah saja, yaitu dalam arah rentang  $L$  (lihat gambar di bawah), pegas yang

diperkuat peregangan dipasang dalam satu arah saja, untuk menjaga posisi tulangan (pada saat pengecoran beton) tidak berubah dari bala bantuan tambahan asli / bergeser kemudian yang mengarah tegak lurus terhadap penguatan dasar. Peregangan ekstra ini biasa disebut: penguatan untuk. (seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah).

Posisi dasar dan penguatan selalu berpotongan tegak lurus dan dipasang berdekatan dengan tepi luar, sementara tulangan dipasang di bagian dalam dan dilekatkan pada penguatan dasar. Tepat di lokasi salib, dua bala bantuan terikat erat dengan kawat benddraad. Fungsi penguat untuk, selain memperkuat posisi tulangan utama, serta penguatan untuk menahan beton retak karena penyusutan dan perbedaan suhu pada beton.

#### **2.3.1.2 Pelat Dua Arah**

Dinamakan plat dua arah apabila dibandingkan sisi panjang terhadap sisi pendek kurang dari sama dengan dua, dan lentur yang terjadi akan menimbulkan di arah yang saling bersilangan (tegak lurus). Struktur gedung beton bertulang dengan sistem yang dicetak ditempat dapat terdiri dari plat lantai menerus yang dicetak menjadi satu kesatuan monolit dengan balok-balok penampangnya. Plat merupakan elemen horizontal yang beban hidup dan beban mati disalurkan ke balok dan kolom pada struktur.

Karena momen lentur bekerja dalam dua arah, yaitu dalam arah span ( $l_x$ ) dan span ( $l_y$ ), penguatan dasar juga dipasang dalam dua arah vertikal, sehingga tidak perlu untuk penguatan. Namun pada pelat di area tumpuan itu hanya bekerja lentur saat 1 arah saja, sehingga untuk area tumpuan ini masih dipasang pijakan dasar dan belah, seperti terlihat pada gambar di bawah. Rentang ( $l_y$ ) selalu dipilih  $>$  atau  $= l_x$ , tetapi saat  $M_{ly}$  selalu  $<$  atau  $= M_{lx}$ , sehingga arah tulangan ( $l_x$ ) (momen besar) dipasang dekat tepi luar.

### 2.3.2. Kolom

Kolom adalah elemen vertikal dari bangunan bingkai / bingkai yang tugasnya membawa muatan dari balok dan elemen lainnya. Elemen kolom itu sendiri adalah batang kompresif diri sehingga kolaps yang terjadi di kolom dapat menyebabkan keruntuhan di lantai atas dan runtuh seluruhnya.

Keruntuhan struktur kolom adalah hal yang perlu dipertimbangkan baik dari aspek ekonomi dan keselamatan jiwa manusia. Oleh karena itu, dalam mendesain kolom kita harus lebih hati-hati dengan menyediakan fitur keamanan yang lebih besar daripada elemen struktural lainnya seperti blok dan pelat, dan juga untuk menekan yang terjadi di kolom tidak selalu memberikan peringatan awal yang cukup jelas.

Dalam analisis dan perencanaan kolom, dasar-dasar teori yang digunakan dalam perencanaan balok dapat diterapkan pada perhitungan kolom, tetapi kebutuhan untuk penambahan dalam hal faktor selain momen lentur adalah kekuatan kompresi normal yang termasuk dalam perhitungan kolom ini. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyesuaian dalam penyusunan persamaan ekuilibrium struktural dengan meninjau kombinasi momen.

Menurut SNI-03-2847-2002 ada empat ketentuan terkait perhitungan kolom:

1. Kolom harus direncanakan untuk menanggung berat aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai/atap dan momen maks dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai/atap yang ditinjau. Kombinasi pembebanan akan menghasilkan rasio maksimal dari momen terhadap beban jalur aksial yang juga harus diperhitungkan.
2. Pada bangunan rangka/struktur terus pengaruh dari beradanya beban tak seimbang pada lantai/atap terhadap kolom juga dihitung. Demikian pengaruhnya beban eksentris karena pengaruh yang lain bisa dihitung.

3. Dalam merencanakan momen akibat beban gravitasi yang bekerja pada kolom, ujung-ujung terjatuh kolom dapat dianggap jepit, selama ujung-ujungnya tersebut menyatu (monolit) dengan komponen struktur lainnya.
4. Momen-momen yang bekerja pada setiap level lantai atau atap harus didistribusikan pada kolom diatas dan dibawah lantai tersebut berdasarkan kelakuan relative kolom dengan juga memperhatikan kondisi kekekangan pada ujung kolom.

#### **2.3.2.1. Jenis-jenis Kolom**

Menurut Wang (1986) dan Ferguson (1986) jenis-jenis kolom ada tiga:

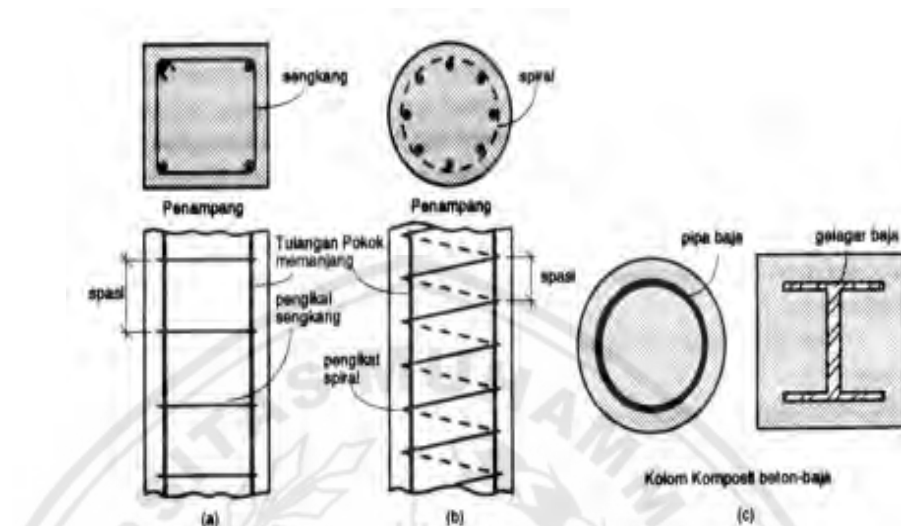
1. Kolom ikat (tie column)
2. Kolom spiral (spiral column)
3. Kolom komposit (composite column)

Menurut Istimawan Dipohusodo , 1994 di dalam buku struktur beton bertulang dijelaskan adanya tiga jenis kolom,yaitu :

1. Kolom menggunakan tegang siku lateral. Kolom ini adalah kolom beton bertulang yang memanjang pada jarak tertentu dengan poros lateral yang meruncing. Dasi ini juga berfungsi untuk menahan penguatan dasar agar tetap kokoh di tempatnya.
2. Kolom dengan pengikat spiral. Kolom ini mirip dengan kolom pertama hanya bentuk untuk batang pengikat spiral yang menempel di sekitar dan membentuk bidang heliks kontinyu sepanjang kolom. Fungsi batang pengikat spiral ini adalah untuk menyediakan berkemampuan kolom untuk menahan deforma yang cukup sebelum keruntuhan, sehingga mencegah penghancuran semua bagian kolom sebelum terjadinya proses redistribusi beban dan ketegangan. Seperti pada Gambar 2.2 (b).
3. Struktur kolom komposiit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 (c). Merupakan kolom dengan kompnen strktur tekan yang



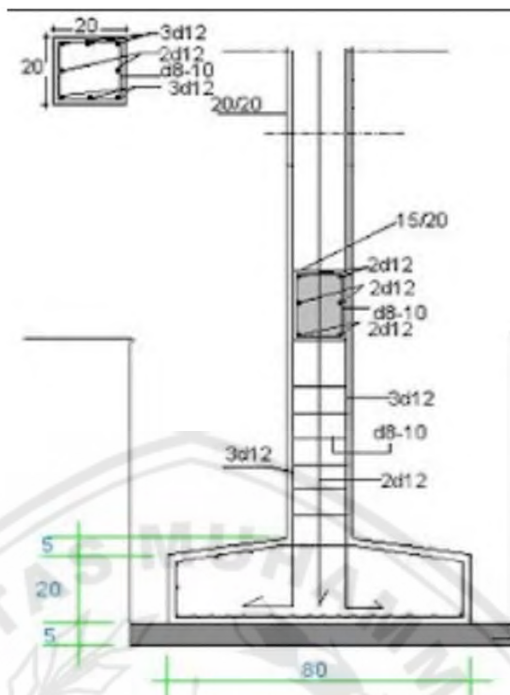
diperkuat dalam arah memanjang menggunakan bidang profil baja atau pipa, dengan atau tanpa batang penguat yang diperpanjang.



**Gambar 2.2** Jenis-jenis kolom

### 2.3.2.2 Kolom Utama

Kolom utama ialah kolom yang tujuan utamanya adalah berfungsi sebagai pendukung utama bangunan dengan mengabaikan beban utama di atasnya. Untuk konstruksi perumahan dianjurkan bahwa jarak antara kolom utama ialah 3,5 m, sehingga dimensi struktur balok untuk mendukung lantai tidak terlalu besar, jika jarak antar kolom dibuat lebih dari 3,5 meter, maka struktur bangunan harus diperhitungkan. Sedangkan besarnya kolom utama untuk bangunan tempat tinggal di lantai 2 biasanya menggunakan ukuran 20/20, dengan basis 8d12 mm, dan beugel d 8-10cm (8d 12 berarti jumlah diameter 12mm 12mm, diameter 8-10cm) dimaksudkan diameter beugel 8 dengan jarak 10 cm).

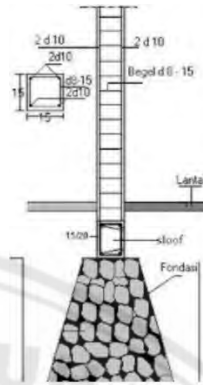


**Gambar 2.3** kolom Utama

### 2.3.2.3 Kolom Praktis

Kolom yang tepat ialah kolom yang tugasnya adalah pembantu kolom utama untuk mendukung beban dan juga sebagai pengikut antara dinding sehingga dinding tetap stabil dan terjaga. jarak kolom maks 3,5 meter, atau dipertemuan pasangan-bata(sudut). Dimensi kolom praktis 15/15 dengan penguatan beton 4 d 10 beugel d 8-20. Kolom cetak dalam konstruksi. Kolom utama di portal biasanya terus naik dan naik sehingga posisi kolom utama tidak boleh berturut-turut. karena ini akan menghilangkan kekakuan struktur portal frame-nya. Jadi harus dihindari rencana kolom portal yang tidak samadengan untuk setiap lapisan lantai. Dimensi kolom yang lebih ke atas mungkin lebih kecil, sesuai dengan beban bangunan yang didukung semakin banyak dan juga lebih kecil. Perubahan dimensi kolom harus dilakukan pada layer lantai, sehingga pada kolom kolom memiliki kekakuan yang sama. Prinsip memaksa meneruskan pada kolom fondasi pada balok portal menyusun kolom menjadikan suatu kesatuan. Blok menerima seluruh gaya dari pelat lantai dan lolos ke kolom pendukung. Hubungan balok dan kolom adalah

jepit, sistem pendukung yang dapat menahan momen, gaya vertikal dan horizontal.



**Gambar 2.4** kolom Praktis

#### **2.4. Flat Slab**

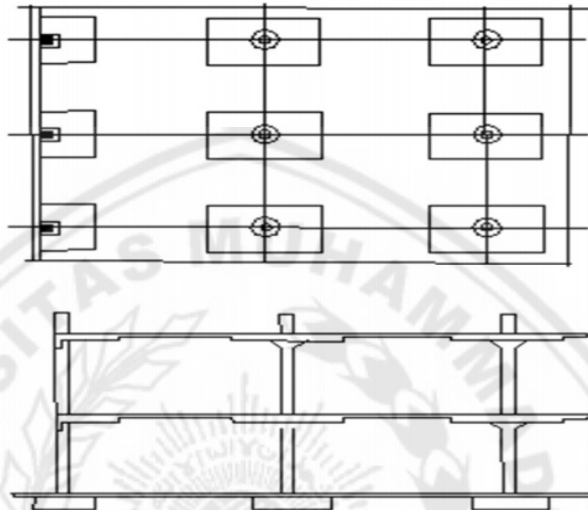
Suatu flat slab adalah pelat beton bertulang yang ditumpu secara langsung oleh kolom – kolom beton tidak memakai balok – balok perantara. Pelat bisa mempunyai tebal konstan seluruhnya atau dapat dipertebal di daerah kolom dengan suatu pelat tiang (drop panel). Kolom juga mempunyai penampang konstan atau dibesarkan untuk membentuk suatu kepala kolom. Pada umumnya dipakai dengan beban – beban hidup yang melebihi 7 KN/m<sup>2</sup>, atau berkisar itu.

Flat slab mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan lantai yang terdiri dari pelat dan balok. Acuan yang sederhana dan pengurangan tinggi lantai membuat flat slab ini lebih ekonomis. Jendela – jendela dapat dibuat sampai sisi bawah pelat dan tidak ada balok – balok yang menghalangi cahaya dan sirkulasi udara. Tidak adanya sudut-sudut yang tajam dalam memberikan ketahanan dalam kebakaran yang lebih besar adanya karena berkurangnya bahaya pengelupasan beton dan menganganya tulangan.

Flat slab dapat dicirikan dengan tanpa adanya balok-balok penyanggah di sepanjang garis-garis kolom, namun pada tepi bangunan luar boleh atau bisa ada balok. Flat slab biasanya beda dari lantai pelat datar dalam hal bahwa lantai

cendawan mempunyai kekuatan geser yang cukup dengan adanya salah satu atau kedua hal berikut:

- 1) Drop Panel yaitu penambahan tebal pelat di dalam daerah kolom.
- 2) Kepala kolom yaitu pelebaran sisi kolom mengerucut dari ujung kolom atas.



**Gambar 2.5** Denah Flat Slab dan Potongan

SNI 2847-2013 memberikan persyaratan plat tanpa balok yang berada diantara tumpuan dan mempunyai rasio bentang arahpanjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari dua, tebal minimum harus memenuhi ketentuan :

**Tabel 2.2** Minimum Plat Tanpa Balok Interior

Tegangan leleh, $f_y$ MPa <sup>†</sup>	Tanpa penebalan <sup>‡</sup>			Dengan penebalan <sup>‡</sup>		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir <sup>§</sup>		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir <sup>§</sup>	
280	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

\*Untuk konstruksi dua arah,  $\ell_n$  adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan padapelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain. Untuk  $f_y$  antara nilai yang diberikan dalam tabel. Panel drop Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai  $\alpha_f$  untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8. (Sumber : SNI 2847- 2013)

Sebagai tambahan terhadap persyaratan lain dari tulangan pelat tanpa balok, tulangan pada slab tanpa balok harus mempunyai panjang minimum seperti ditetapkan dalam tabel 2.3

**Tabel 2.3** Tulangan terusan minimum pelat tanpa balok

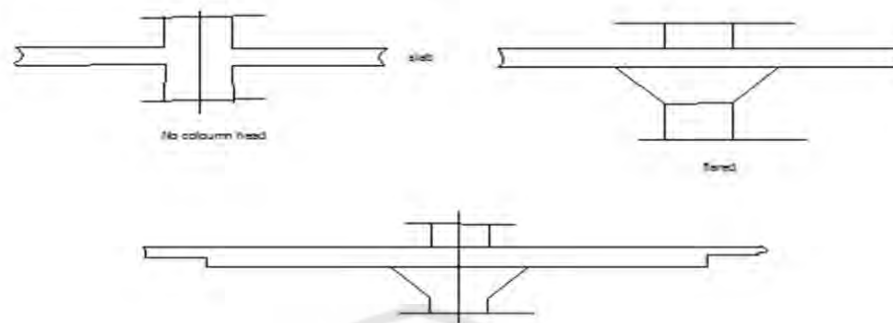
LAJUR	LOKASI	A <sub>s</sub> MINIMUM PADA PENAMPANG	TANPA PANEL TURUN	DENGAN PANEL TURUN
LAJUR KOLOM	ATAS	SISA 50%		
	BAWAH	100%		
LAJUR TENGAH	ATAS	100%		
	BAWAH	SISA 50%		

#### 2.4.1. Drop panel

Pertebalan pelat yang lazimnya digunakan di dalam konstruksi flat slab merupakan penambahan tebal pelat di sekitar kolom. Bila pertebalan pelat diteruskan dari garis pusat tumpuan paling tidak seperenam dari bentang yang diukur pusat ke pusat dalam masing – masing arah, dan bila proyeksi dibawah pelat paling tidak seperempat dari tebal pelat diluar pertebalan, maka ACI - 9.5.3.2 mengizinkan penggunaan tebal pelat minimum yang disyaratkan yang direduksi dengan 10%. Untuk menentukan tulangan, mensyaratkan bahwa tebal dari drop panel di bawah pelat harus dimisalkan pada harga yang tidak melebihi seperempat dari jarak antara tepi dari drop panel dan tepi dari kepala kolom. Oleh karena persyaratan ini, tidak ada alasan yang cukup kuat untuk menggunakan drop panel yang lebih tebal.

Dalam menentukan dimensi pertebalan pelat ( drop panel ) seperti yang dinyatakan sebelumnya, factor-faktor yang mempengaruhi dalam lebar pelat pada potongan persegi panjang dan potongan ini dapat ditentukan dari

garis tengah bentangan pelat. Sehingga dalam menentukan tebal pelat antara panel akan dapat diperiksa.



**Gambar 2.6** Potongan Drop Panel

Bila drop panel dapat berbentuk persegi dalam perencanaan, dan memiliki panjang dalam setiap arah tidak lebih dari sepertiga panjang panel dalam arahnya. Untuk panel luar, lebar drop dengan sudut sampai didalam panel yang terputus dan diukur dari garis pusat kolom sama dengan setengah lebar panel untuk panel dalam

Penambahan ketebalan plat di dalam penampang kolom dimaksud untuk mengurangi adanya geser pons. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 15 butir 13.2.5, syarat pengurangan adalah sebagai berikut:

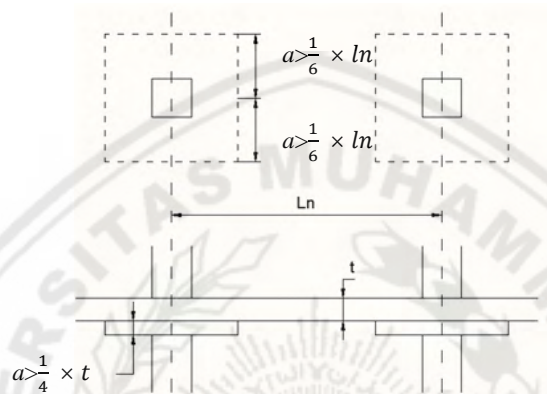
1. Pada disetiap arah, pertebalan panel harus lebih menjorok dari garis sumbu perletakan sejarak tidak kurang dari seper enam panjang bentang yang diukur dari sumbu ke sumbu perletakan didalam arah tersebut (Gambar 2.7)
2. Proyeksi penebalan pada panel di bawah pelat paling tidak harus berukuran seper empat dari tebal plat yang berada diluar penurunan panel tersebut.
3. Dalam menghitung tulangan pada pelat yang diperlukan, tebal panel tidak boleh diartikan lebih besar dari seper empat dari jarak antara tepi penebalan panel sampai tepi kolom atau kepala kolom

$$a > \frac{1}{6} \times l_n$$

.....(6.7)

$$t_{droppanel} > \frac{1}{4} \times t$$

.....(6.8)



**Gambar 2.7** Persyaratan ketebalan flat slab dan drop panel

#### 2.4.2. Kepala Kolom (column capital)

Kepala kolom yang dipakai didalam bangunan flab slab merupakan perbesaran dari permukaan kolum dibagian atas atau pada pertemuan dengan pelat lantai. Karena tidak menggunakan balok-balok, maka tujuan adanya kepala kolom ialah mencari pertambahan keliling kritis kolom undak memberikan tegangan geser dari beban lantai dan untuk penambah tebal dengan berkurangnya keliling dekat kolom. Dengan memisalkan garis maksimum 45° untuk distribusi dari geser kepada kolom, ACI – 13.1.2 meyaratkan bahwa kepala kolom efektif untuk pertimbangan kekuatan agar berada dalam kerucut bulat terbesar, piramida atau biji yang mengecil dengan puncak 90° yang diikutkan didalam cakupan dari elemen pendukung yang sebenarnya. Garis tengah dari kepala kolom biasanya sekitar 20 sampai 25% dari rata-rata diantara kolom-kolom.

Dimensi dari kepala kolom dapat ditentukan secara efektif tergantung tebal kepala kolom. Kemiringan sudut kepala, jika pelebaran aras atau teori

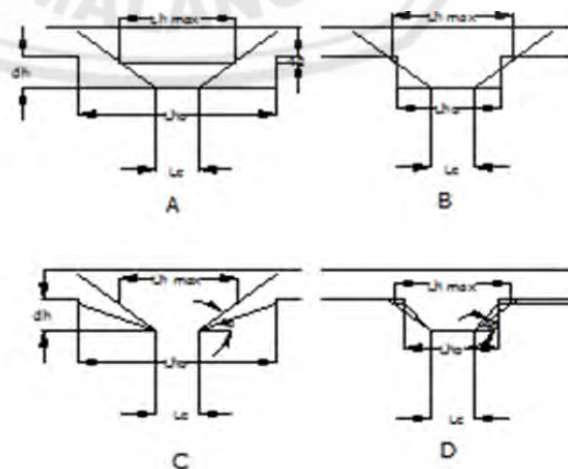
kemiringan jika seragam tidak melebihi dari  $45^\circ$  dari horizontal. Dimensi dapat diukur dengan jarak 40 mm dibagian bawah pelat atau drop panel yang telah disediakan. Jika persyaratan ukuran kepala kolom yang sebenarnya diperoleh sudut kurang dari  $45^\circ$  maka dimensi yang harus digunakan. Persyaratan ini dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$L_h = \text{lebih kecil dari } l_{ho} \text{ dan } l_{hmax} = l_c + 2(d_h - 40) \text{ mm}$$

dimana  $l_{ho}$  adalah dimensi actual,  $l_c$  adalah dimensi kolom yang diukur dari sama arah,  $d_h$  adalah tebal kepala kolom bagian atas pelat atau drop, semua ukuran dalam satuan millimeter.

Jika kepala kolom adalah berbentuk lingkaran, kemudian  $l_h$  menjadi  $h_c$ . Dengan kata lain, nilai  $h_c$  harus dihitung. Nilai  $h_c$  tidak boleh melebihi dari  $\frac{1}{4}$  dari jarak bentangan antara kolom yang biasanya dalam menentukan ukuran ini dan selanjutnya dapat menghitung ukuran kepala kolom yang paling besar dapat ditentukan. Misalnya, jika perencana merencanakan kolom persegi dan kepala kolom persegi, maka ukuran kepala kolom menjadi  $0,88 h_c$ , dimana kurang lebih  $0,22 l_{min}$ . Dalam menentukan ukuran

disesuaikan dengan kepala kolom persegi untuk dapat menentukan nilai  $h_c$  dimana nilai  $h_c$  digunakan dalam semua analisis untuk menghitung momen lentur



**Gambar 2.8** Dimensi kepala kolom, (a)  $l_h = l_{hmax}$ , (b)  $l_h = l_{ho}$ , (c)  $l_h = l_{hmax}$ , (d)  $l_h = l_{ho}$



## 2.5. Metode Desain Flat Slab

### 2.5.1. Metode Desain Langsung (*Direct Design Method*)

Untuk menentukan koefisien momen. Metode ini melibatkan analisis distribusi momen siklus tunggal dari struktur berdasarkan pada (a) perkiraan kekakuan lentur pelat balok (jika ada), dan kolom dan (b) kekakuan torsi dan pelat dan balok (jika ada) transversal terhadap arah momen lentur yang akan ditentukan. Beberapa jenis koefisien momen telah digunakan selama bertahun-tahun dengan hasil baik untuk mendesain pelat. Tetapi koefisien tersebut tidak memberikan hasil yang baik untuk pelat dengan dimensi dan pola pembebanan yang tidak simetris.

Metode ini merupakan rangkuman dari pendekatan *ACI-13.6.1*, serta SNI-2847:2013 untuk mengevaluasi dan mendistribusikan momen total pada panel *slab* dua arah

Batasan- batasan penggunaan metode desain langsung yaitu:

1. Pada masing-masing arah minimum ada tiga bentang menerus.
2. Bentang panjang dan pendek tidak boleh perbandingannya lebih dari 2,0 pada tiap panelnya.
3. Bentang yang berada disebelahnya dalam masing-masing arahnya tidak boleh beda dari sepertiga bentang yang panjang.
4. Kolom dapat mempunyai offset maksimum 10% dari bentang dalam arah offset dari kedua sumbu antara garis pusat kolom yang bersebelahan.
5. Semua beban yang hanya akibat beban gravitasi dan terbagi merata di seluruh panel. Beban hidup tidak boleh melebihi tiga kali beban mati.
6. Apabila panel tersebut ditumpu oleh balok pada semua sisinya, maka kekakuan balok dalam dua arah yang saling tegak luruh tidak boleh kurang dari 0,2 dan tidak boleh lebih besar dari 5,0.

### 2.5.2 Metode Portal Ekuivalen (Equivalent Frame Method)

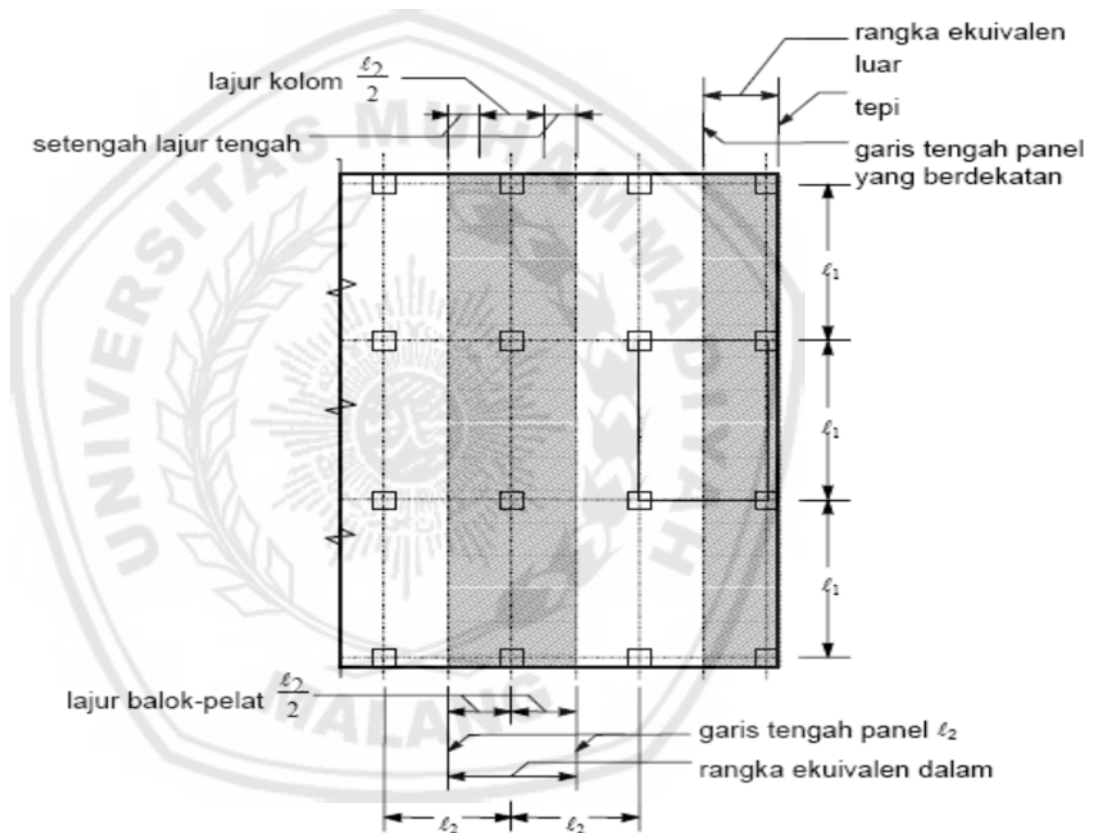
Untuk menganalisa beban horizontal, metode portal ekuivalen berbeda dari metode perencanaan langsung yang hanya dalam perhitungan momen-momen longitudinal sepanjang portal kaku ekuivalen. Pada metode perencanaan langsung hanya dapat digunakan apabila beban merata yang bekerja adalah seragam, dan jarak antar kolom penompang pelat seragam juga. Selain kondisi itu, maka metode perencanaan langsung tidak akan memberikan hasil yang memuaskan. Oleh karena itu sebagai alternatif untuk menentukan gaya-gaya dalam pada sistem struktur pelat, dapat digunakan metode portal ekuivalen.

Analisis dengan menggunakan Metoda Portal Ekuivalen, dilakukan dengan batasan sebagai berikut :

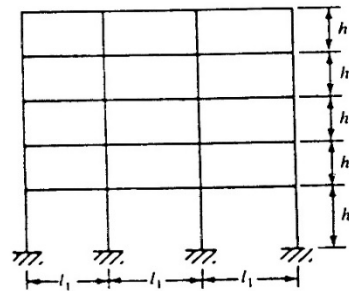
1. Bangunan harus selalu dianggap berdiri dari bingkai setara pada garis kolom yang ambil malam arah longitudinal dan transversal bangunan.
2. Frame yang terdiri dari deretan kolom atau jalur penyangga dan pelat-balok, terbatas pada arah lateral oleh diameter panel yang terletak di setiap sisi sumbu kolom atau tumpuan.
3. Kolom atau tumpuan dianggap terkait dengan jalur balok-balok oleh komponen memutar yang arahnya dapat melintang ke arah bentang pada saat itu dan meluas ke garis tengah panel di setiap sisi kolom.
4. Rangka yang berekatan dan sejajar terhadap suatu tepi dibataskan oleh tepi tersebut dan garis tengah panel yang berada didekatnya.
5. Setiap frame yang setara dapat dianalisis secara keseluruhan; sebagai alternatif, untuk perhitungan karena beban gravitasi, setiap lantai dan atap bisa dianalisis secara terpisah dengan mengasumsikan bahwa ujung-ujung kolom terjepit.
6. Ketika berkas dianalisis secara terpisah, dalam menentukan momen pada tumpuan, dapat diasumsikan bahwa tumpuan jauh pada dua

rentang berikutnya disematkan selama balok-pelat terus melewati alas pin.

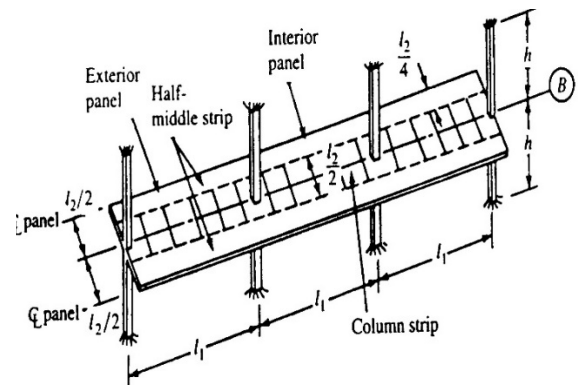
Nilai-nilai pada momen yang yang diperoleh, kemudian disalurkan ke lajur kolom, lajur tengah dan balok dengan pen-distribusian layaknya metode disain langsung Definisi dari portal ekuivalen digambarkan pada **Gambar 2.9** berikut :



(a) pelat lantai tipikal



(b) portal bangunan tipikal

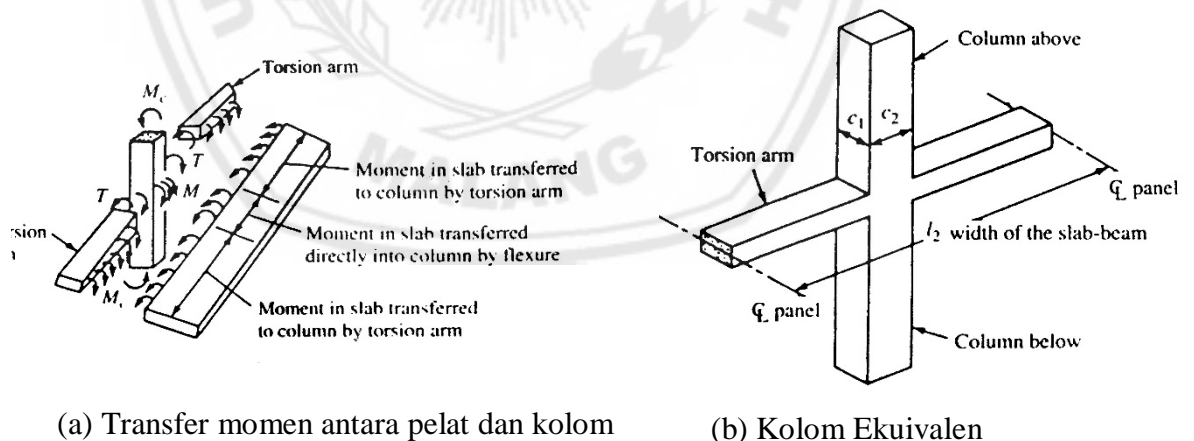


(c) rangka ekuivalen dalam (interior)

**Gambar 2.9.** Definisi Portal Ekuivalen

### 2.5.2.1 Kolom Ekuivalen

Kolom ekuivalen dapat bergabung dengan balok-balok transversal pada bentang yang dapat disiram oleh aksi / torsi. Baut pelat yang meruncing dapat meluas dari permukaan garis sumbu pada panel yang dapat membatasi setiap sisi pelat piring yang kami ulas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 di bawah ini:



(a) Transfer momen antara pelat dan kolom

(b) Kolom Ekuivalen

**Gambar 2.10** Transfer momen pada pelat dan kolom ekuivalen

Aksial pada torsi balok-balok melintang akan dikurangi oleh efektivitas lentur efektif kolom yang sebenarnya. Efek ini dihitung dalam analisis dalam runtuhnya Kolom Setara yang memiliki kekuatan

lentur lebih kecil dari kolom yang sebenarnya. Nilai setara kekakuan lentur kolom setara dapat ditentukan oleh persamaan:

$$\frac{1}{K_{ek}} = \frac{1}{\sum K_k} + \frac{1}{K_t}$$

Dimana :  $K_{ek}$  = kekakuan lentur kolom ekuivalen

$\sum K_k$  = jumlah kekakuan lentur kolom aktual dari kolom atas dan bawah pelat.

$K_t$  = kekakuan puntir dari penahan puntir (torsion arm)

Nilai kekakuan torsi  $K_t$  dapat ditentukan sebagai berikut :

$$K_t = \sum \frac{9 \cdot E_{bp} \cdot C}{l_2 \left( 1 - c_2 / l_2 \right)^3}$$

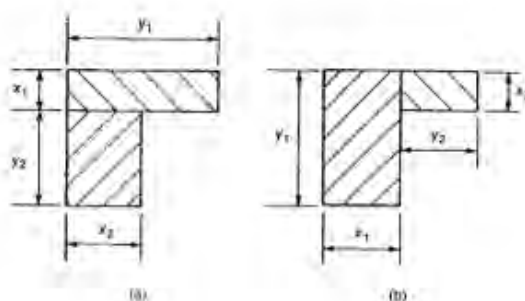
Dimana :  $E_{bp}$  = Modulus elastisitas balok pelat.

$C_2$  = ukuran kolom, kepala kolom dalam arah  $l_2$

$l_2$  = lebar dari balok-pelat yang ditinjau.

$C$  = konstanta penampang untuk menentukan kekakuan puntir, ditentukan sebagai berikut :

$$C = \sum \left( 1 - 0,63 \cdot \frac{x}{y} \right) \cdot \frac{x^3 \cdot y}{3}$$



$x$  : dimensi keseluruhan yang lebih pendek dari bagian persegi suatu penampang, mm  
 $y$  : dimensi keseluruhan yang lebih panjang dari bagian persegi suatu penampang, mm

Jika terdapat balok sepanjang garis kolom, nilai  $K_t$  harus dikalikan dengan faktor

$I_{bp}/I_p$ , sebagai berikut :

$$\frac{1}{K_{ek}} = \frac{1}{\sum K_k} + \frac{1}{K_k \cdot \left( \frac{I_{bp}}{I_p} \right)}$$

Dimana :  $I_{bp}$  = momen inersia balok pelat

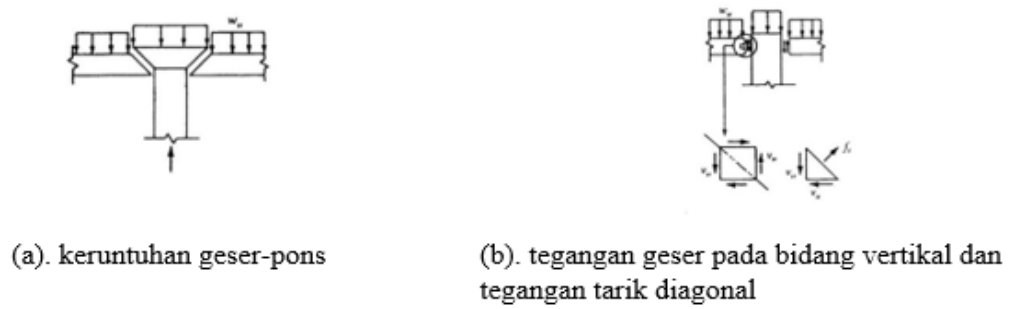
$I_p$  = momen inersia pelat dari balok-pelat yang ditinjau

### 2.5.2.2 Transfer Beban Lantai ke Kolom

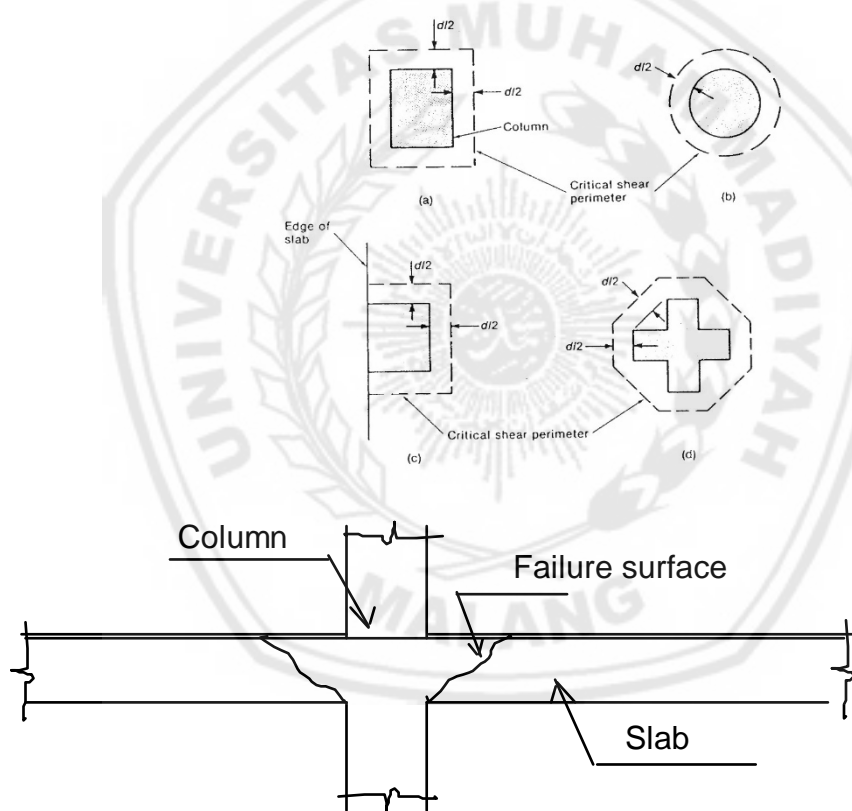
Beban maks yang bekerja pada bangunan yang memiliki pelat dua arah harus dapat mempertahankan kekuatannya dengan pertemuan antara pelat dan kolom. Meskipun lempeng itu sendiri memiliki kemampuan untuk membawa beban tangguh yang disebabkan oleh momen lentur yang dihasilkan dari beban, kemungkinan besar pelat tersebut belum memiliki kemampuan untuk mendukung gaya geser yang dihasilkan. Pindahkan beban dari permukaan pelat ke kolom yang terjadi di sekeliling kolom. Jika pelat yang direncanakan tidak sesuai dengan ketebalan, maka luasnya lebih kecil sehingga tegangan kerja pada area sekitar kolom lebih besar.

Dalam kondisi tertentu, momen-momen biasa juga harus disalurkan dari plat ke kolom. Momen ini akan dipengaruhi oleh gaya geser dan gaya tambahan yang disebabkan oleh beban vertikal bangunan. Tegangan ini tentunya sangat besar pada kolom yang berada di luar area (kolom eksterior), di mana momen yang hanya bekerja pada satu sisi.

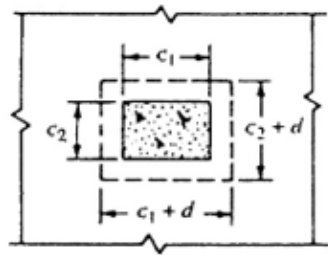
Transfer pada beban akan terjadi pada sambungan plat tanpa balok, beban vertikal dari plat lantai diberikan dalam bentuk tegangan geser ke permukaan kolom. Beban yang bekerja pada plat lantai akan menyebabkan keruntuhan jika gaya geser yang bekerja di area sekitar kolom lebih besar dari kekuatan beton itu sendiri dan juga akan mengakibatkan retakan pada beton.



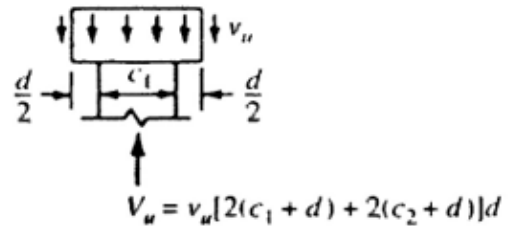
**Gambar 2.11.** Transfer beban Vertikal dari pelat lantai ke kolom



**Gambar 2.12** Retak akibat geser pons



(b). tampak atas



(c). tegangan geser pada penampang kritis

**Gambar 2.13** Penampang kritis pada keruntuhan geser-pons

Besarnya kapasitas geser beton pada keruntuhan geser-pons, ditentukan dari nilai terkecil dari persamaan :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \sqrt{f'_c} b_0 d$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_0 d}{12}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_0 d$$

Dimana : d = tinggi efektif pelat lantai

$B_0$  = keliling dari penampang kritis

$\beta_c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek dari kolom

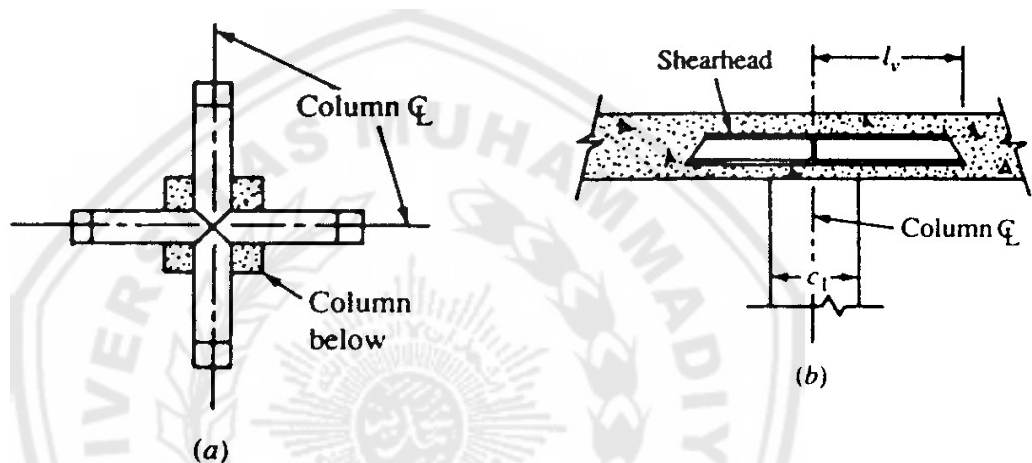
Untuk  $\beta_c < 2$ , untuk kolom dalam :  $V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_0 d$

$\alpha_s$  = 40 untuk kolom dalam, 30 untuk kolom pinggir dan 20 untuk kolom sudut, dimana kata-kata dalam, pinggir dan sudut berhubungan dengan sisi dari penampang kritis.



### 2.5.2.3 Perkuatan dengan Shearhead (*Shearhead Reinforcement*)

Dalam konstruksi flatslab, distribusi beban di lantai ke kolom ditentukan di mana tegangan geser adalah dengan luas bidang kontak bidang penampang kolom kolom dengan pelat. Area kecil di lapangan disebabkan oleh dimensi pelat yang terlalu tipis dari dimensi kolom, sehingga menyebabkan kekuatan geser bekerja terlalu besar daripada pola keruntuhan pukulan.



**Gambar 2.14.** Perkuatan dengan shearhead. (a). tampak, (b). potongan

Untuk mengatasi hal seperti ini, perlu dilakukan perbaikan dengan memperbesar keliling beton penampang kritis untuk menahan gaya geser, salah satunya dengan memberikan penguatan seperti itu (Gambar 2.16). Shearhead adalah salah satu jenis penguatan khusus untuk meningkatkan terjadinya beban vertikal yang terlalu besar yang diakomodasi oleh pelat.

Shearheads adalah elemen retrofitting yang memiliki bentuk seperti tanda tambah, yang terbuat dari baja profil seperti balok C dan I yang sangat kaku dan keras, dan biasanya ditempatkan di atas kolom penampang melintang. Shearhead juga berfungsi sebagai penguat untuk memperbesar bagian efektif dari bagian geser, yang mana gaya geser dikeluarkan dari pelat ke bidang kolom.

### 2.5.3. Metode Sederhana (*Simplified Method*)

Menurut BS-8110-3.5.2.3, pada prinsipnya slab harus dirancang untuk menahan susunan yang paling tidak baik dari beban desain. Namun, pelat biasanya akan dapat memenuhi persyaratan ini jika dirancang untuk menahan momen dan gaya yang timbul dari beban sendiri dari beban maksimum semua bentang atau pelat pada kondisi berikut.

- a. Dalam satu arah pelat yang membentang masing-masing melebihi  $3 \text{ m}^2$ . Dalam konteks ini, berarti jalur di lebar penuh struktur dibatasi pada dua sisi lainnya oleh garis tumpuan/kolom.
- b. Rasio beban yang di tahan pada beban mati tidak melebihi 1,25.
- c. Beban ditahan tidak melebihi  $5 \text{ kN/m}^2$  termasuk partisi.

### 2.5.4. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Teknik elemen hingga adalah pendekatan numerik lain yang baru dan berbeda untuk analisis struktur *flat slab*. Metode FE telah direkomendasikan oleh banyak dari Kode Praktek seperti ACI318, EC2, AS3600-2001 (kode Australia), CSA A23.3-94 (kode Kanada) dan BS8110. Metode ini sangat baik dalam menangani tata letak yang tidak teratur dari struktur *flat slab* dari pada metode kode konvensional seperti metode langsung desain (ACI) dan metode koefisien disederhanakan (EC2 dan BS8110).

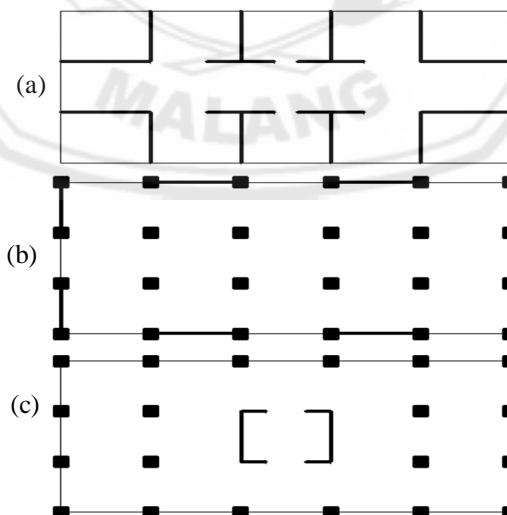
Dalam metode ini, struktur *flat slab* dibagi menjadi beberapa persegi panjang, daerah segitiga atau segiempat, atau elemen. Pelat persegi panjang dibentuk oleh sejumlah elemen persegi panjang dari grid. Setiap elemen kecil lentur sifat deformasi bisa cermat.

## 2.6. Dinding Geser (Shear Wall)

Dinding geser (*Shear Wall*) cocok untuk diaplikasikan pada gedung bertingkat tinggi. Karena dinding geser merupakan struktur penahan gaya lateral akibat beban gempa dan gaya geser dasar horizontal yang diakibatkan oleh gaya lateral tersebut.

Dinding geser ialah salah satu jenis struktur vertical yang biasanya dipakai di bangunan tingkat menengah sampai tinggi. Fungsi dinding geser sendiri sebagai penahan gaya lateral bangunan seperti beban gempa dan angin. berdasarkan fungsinya, dinding geser sendiri terbagi menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Bearing walls ialah dinding yang tujuannya menopang gaya bangunan. Dinding menggunakan antar partisi yang berdekatan.
2. Frame walls ialah dinding geser yang untuk menopang gaya lateral, dimana beban bangunan dari panel beton bertulang. Dinding ini biasa dibangun antar kolom.
3. Core walls ialah dinding geser yang letaknya ditengah bangunan, biasanya di tempat tangga atau lift. Dinding yang berada di pusat bangunan cenderung memiliki nilai keekonomisan yang lebih efektif.



**Gambar 2.15** Bearing walls (a), Frame wall (b), Core walls (c)

Jenis dinding geser (*shear wall*) dibagi menjadi dua yaitu :

1. Dinding tunggal yang diletakan terpisah pada tiap sisi bangunan,
2. Beberapa dinding geser yang disusun membentuk core dan diletakan di tengah gedung, seperti pada Gambar 2.15



**Gambar 2.16** Jenis dinding geser

Dalam mendesain letak dinding struktur di suatu denah bangunan yang akan dibangun perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Dinding geser harus diatur sedemikian rupa hingga tidak terjadi torsi atau puntir yang berlebihan pada bangunan akibat gaya horisontal (beban angin dan gempa),
2. Dinding geser diatur sedemikian rupa sehingga tidak terjadi tekangan (*restrain*) pada pelat lantai ketika mengalami susut atau perubahan temperatur.

Dinding geser harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral yang mungkin terjadi akibat beban gempa, dimana berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 14.5.3.1, tebal minimum dinding geser ( $t$ ) tidak boleh kurang dari 100 mm.

$$t > \frac{1}{25} \times h \dots\dots\dots(2.3)$$

#### **Kontrol kapasitas *shear wall* terhadap kombinasi beban aksial dan beban lentur**

Menurut SNI 2847-2013 pasal 14.5.2 kapasitas beban aksial dinding geser tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

**Kontrol :  $\phi \cdot P_n > P_u$ , dimana :**

$$\phi P_n = 0,55 \times \phi \times f \times A_g \times \left[ 1 - \left( \frac{k \times l_c}{32 \times h} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (2.4)$$

**Evaluasi kapasitas kuat geser *shear wall* (SNI 2847-2013 pasal 11.9.6)**

$$V_c = \left[ 0,05 \lambda \sqrt{f'_c} + \frac{l_w \left( 0,1 \lambda \sqrt{f'_c} + 0,2 \frac{N_u}{l_w h} \right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] h d \dots\dots\dots (2.5)$$

atau

$$V_c = 0,27 \lambda \sqrt{f'_c} h d + \frac{N_u d}{4 l_w} \dots\dots\dots (2.6)$$

Diambil hasil terbesar, bila  $V_u > \phi V_c$  maka tulangan geser  $V_s$  harus direncanakan

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \dots\dots\dots (2.7)$$